

# Changement climatique, instruments économiques et propositions pour un accord post-Kyoto : une synthèse\*

Julien Daubanes<sup>§</sup>

*Toulouse Sciences Economiques (MPSE et LERNA)*

Cette version, 5 Juillet 2007

## Introduction

Le changement climatique qui pourrait résulter de l'accumulation dans l'atmosphère de gaz à effet de serre constitue un problème politique contemporain d'envergure. C'est aussi un immense défi pour la science en général et l'économie en particulier : le besoin d'analyses et de propositions effectives est pressant.

La pollution par émission de ces gaz a un effet externe (possiblement positif ou négatif selon les régions mais globalement négatif, voir Nordhaus et Boyer, 2000) sur l'ensemble des agents (vivants ou à naître) de la planète : le marché ne permet pas aux pollueurs de tenir compte du coût social de leur action et une solution de marchandage est impossible car les générations futures supportent une partie des effets des actions présentes. Autrement dit, le changement climatique est un bien public mondial et multi-générationnel :

---

\*Je remercie Jean Tirole et Christian Gollier pour leur confiance, Toulouse Sciences Economiques pour son soutien financier et André Grimaud, Raphaël Levy et François Salanié pour leurs suggestions d'amélioration.

<sup>§</sup>Adresse électronique : *daubanes@toulouse.inra.fr*.

s'il n'existe pas de marché de la pollution (ou de la dépollution), c'est qu'une amélioration de l'environnement est un bien non-rival et qu'il est impossible d'empêcher un agent de bénéficier de cette amélioration (impossibilité d'exclusion) sauf à coût prohibitif. Alors il est impossible de définir correctement des droits de propriété sur l'environnement mondial. Quand bien même cela serait possible, demeurerait l'impossibilité d'organiser un marché et le problème de l'effet externe sur les générations futures.

L'objectif économique d'efficacité implique qu'à chaque période, il nous faut polluer ni plus ni moins que la quantité telle que, en termes actualisés, la somme des bénéfices marginaux égale le coût total marginal de la pollution. Le problème consiste à corriger l'équilibre décentralisé de sorte que la quantité de pollution soit optimale. Puisque les prix de marché seuls ne reflètent pas les coûts sociaux de la pollution, les agents polluants tendent, par leurs actions décentralisées, à polluer plus qu'optimalement aujourd'hui. S'il est optimal de polluer le plus possible asymptotiquement, c'est-à-dire, de brûler toutes les ressources fossiles, trop polluer aujourd'hui implique ne pas assez polluer demain. Au-delà de l'urgence d'une profonde compréhension des phénomènes climatiques et de leurs effets, il s'agit d'identifier l'ensemble des outils qui permettraient de corriger le comportement des agents économiques. Pour ce faire, il faut analyser la pertinence conceptuelle et l'applicabilité de ces outils à partir de l'imperfection qui cause la distortion et le contexte économique contemporain.

La réduction des émissions de polluants est coûteuse au niveau individuel. Le problème est donc aussi celui de la provision optimale d'un bien public mondial. Une autorité exécutive n'existant pas à cette échelle, la solution est nécessairement décentralisée et un accord international pour lutter contre le phénomène doit être volontaire. Les difficultés alors rencontrées sont liées à la tentation de resquiller et à l'effet de cliquet qui empêchent une coopération internationale aussi paradoxale que nécessaire. Il s'agit alors de comprendre les facteurs de la coopération en général mais aussi dans le cas particulier de la lutte contre le changement climatique.

# **1 Instruments économiques de régulation des émissions de gaz à effet de serre**

## **1.1 Permis d'émissions échangeables : fixer le cap et laisser faire**

La définition complète de droits de propriété est impossible dans le cas du problème du changement climatique persistant car, à une certaine date, des agents affectés par le phénomène ne sont pas encore nés. La mise en place de quotas optimaux individuels est inapplicable. Alors, une solution au problème est la restriction de la quantité globale émise par période. Il s'agit alors de définir un nouveau bien (permis d'émission à une certaine période) et de fixer sa quantité totale : ce système revient à une distribution des droits à polluer de chaque génération. S'il est possible de contrôler les émissions de chaque agent à chaque période, la mise en place d'un système de droits de propriété sur ce bien permet la création d'un marché. Si le régulateur connaît la quantité de pollution efficace et peut assurer un bon fonctionnement du marché, celui-ci permet la minimisation des coûts de polluer au niveau optimal et la distorsion considérée est corrigée.

### **1.1.1 Echelle optimale du marché**

En l'absence d'autres distorsions, le prix des permis doit être le même dans le monde entier. Alors, un marché mondial est plus efficace. En présence d'autres distorsions, ce n'est pas toujours le cas. En particulier, tant que les taxes environnementales locales sont hétérogènes, le système de permis optimal doit être local.

### **1.1.2 Distribution initiale des droits**

L'optimalité de la quantité totale de permis allouée à chaque période est une condition nécessaire de l'efficacité économique. Le profil intertemporel de cette allocation est sujet à débat et à des problèmes de calculs (voir plus bas).

L'allocation statique des permis aux différents acteurs est a priori une pure question de redistribution. En l'absence d'autres distorsions, le résultat du marché de ces permis est robuste à un changement de distribution. Toutefois, dans une économie de second rang, la distribution des permis a des effets d'efficacité (voir la sous-section 1.3.3 pour le cas d'un pouvoir de marché).

Au lieu de distribuer les permis gratuitement ("grandfathering", par exemple), un gouvernement peut les vendre par enchères. Cette pratique pourrait notamment accroître l'efficacité en permettant aux gouvernements d'amoindrir ou supprimer des taxes distorsives existantes ("double dividende") : Bovenberg et de Mooij (1994), Cramton et Kerr (1998) et Parry *et al.* (1999).

L'émission gratuite de permis permet en outre d'atteindre un objectif distributionnel (redistribuer des revenus aux ménages pauvres par exemple) et/ou à compenser certains agents ou firmes dont la situation serait détériorée par la régulation (secteurs pétroliers voire secteurs intensifs en énergie fossile). De telles compensations pourraient ne pas être onéreuses et n'affecteraient que marginalement l'efficacité (Bovenberg et Goulder, 2000) sauf à vouloir complètement exempter les secteurs défavorisés.

Par ce moyen, le régulateur pourrait obtenir une plus grande adhésion des entreprises à cette politique.

Enfin, distribuer l'ensemble des droits d'émission gratuitement aurait le désavantage de favoriser les firmes en place par rapport à celles qui rentre- raient sur le marché et devraient les acheter. C'est l'argument (d'efficience) majeur contre le "grandfathering".

### 1.1.3 Flexibilité intertemporelle

La possibilité pour un pollueur d'emprunter et d'économiser des droits d'émissions permet une réduction des coûts d'abattement. En effet, les fluctuations économiques dans les secteurs énergétiques, souvent liés aux fluctuations climatiques, sont, dans une certaine mesure, imprévisibles. Par consé- quent, des droits à polluer définis sur une courte période (quotas annuels par exemple) reportent ces risques sur les coûts d'abattement. Kolstad et Toman (2001) considèrent que la période d'engagement de cinq ans du protocole de Kyoto offre peu de flexibilité.

Un assouplissement quant à la possibilité de transferts intertemporels des réductions d'émissions permet aussi une obsolescence moins prématurée des équipements existants et l'exploitation des gains liés au progrès technique. Les bénéfices de cette flexibilité pourraient être très importants et sont esti- més à cinquante pour cent ou plus par Manne et Richels (1998).

Le principal problème de la définition de permis sur de longues périodes est celui de la crédibilité d'objectifs à long terme : laisser, par l'emprunt de permis, les entreprises ne pas satisfaire les objectifs de court terme peut décrédibiliser les objectifs, plus pertinents, de long terme.

Il semble aussi qu'il existe un arbitrage entre la flexibilité offerte aux entreprises en vue de les laisser réduire les coûts intertemporels d'abattement et la flexibilité nécessaire de la politique globale. En effet, la politique doit

pouvoir être transparente sur le long terme mais s'adapter à de nouveaux éléments sur les effets du changement climatique et aux progrès réalisés en termes de mesure et simulation d'objectifs optimaux. La stricte définition d'émissions cumulées sur une longue période ne permet pas de réajustements intermédiaires.

## **1.2 Taxes environnementales : internaliser les coûts**

La taxe environnementale vise à faire payer, en sus du prix de marché, les coûts externes engendrés par la pollution et non reflétés par le prix. Puisque le cœur du problème réside dans les émissions, l'idéal serait de les taxer directement. En raison de coûts de mesure élevés, on taxe plus aisément la consommation des ressources polluantes (souvent énergies fossiles) dont on connaît l'intensité a priori en polluants. Puisqu'il existe aujourd'hui des techniques de nettoyage du carbone avant utilisation et de séquestration de la pollution, ces deux types de taxes ne sont pas équivalents et la taxation des ressources est une politique de second rang qui n'incite ni au nettoyage des ressources ni à la séquestration du carbone.

Les taxes sur les ressources peuvent se prélever à différents stades du processus de transformation (taxe sur l'extraction, sur les imports, sur les facteurs énergétiques, le transport...). Les lieux d'extraction étant plus concentrés que les lieux de consommation, il est plus facile de taxer à un stade proche de l'extraction.

Prélever une taxe sur un bien particulier est facile dans un pays où l'appareil fiscal est très développé mais peut s'avérer compliqué ailleurs.

### **1.2.1 Multiplicité, taxe différentielle**

Dans le cas d'une ressource épuisable et en l'absence de possibilité de séquestration et de décrassage ex ante de la ressource polluante, il existe une famille infinie de taxes optimales (dont une unique taxe pigouvienne) aux profils temporels différents. Ces taxes altèrent le sentier d'extraction en donnant des incitations différentes d'extraire (et de consommer) à différentes dates (Sinclair, 1994). Typiquement, il existe alors une famille de taxes optimales (pour une illustration lorsque la distortion provient d'un pouvoir de marché, voir Daubanes, 2007). Ce résultat n'est plus vrai dès lors qu'il est techniquement possible de séquestrer une partie de la pollution (Grimaud *et al.*, 2007).

### 1.2.2 Effets redistributifs

Une taxe environnementale (sur les émissions ou les inputs polluants) permet toujours de récolter des revenus. La question est de savoir qui la supporte vraiment.

Dans le cas d'une taxe sur une ressource non-renouvelable comme les énergies fossiles, une taxe ad valorem anticipée constante ne fait que prélever une part de la rente du propriétaire de la mine et n'a pas d'effet sur le prix final (Bergstrom *et al.*, 1981, et Bergstrom, 1982, et Nordhaus et Boyer, 2000).

Dans ce contexte, si les taxes sont fixées au niveau régional, un pays riche en ressources aura un intérêt moindre à une taxe élevée. L'hétérogénéité géographique des dotations peut donc aboutir à des niveaux de taxe différents et générer ainsi une inefficience globale (Daubanes et Grimaud, 2006).

### 1.2.3 Effet sur l'emploi

Il n'y a pas a priori de raison, comme on le pense souvent, que les taxes environnementales aient un effet négatif sur l'emploi. Dans le modèle de sous-emploi de Hoel (1998), cet effet est positif.

## 1.3 Taxes et permis : différences et similitudes

### 1.3.1 Mesures et calculs

L'utilisation optimale d'une taxe environnementale ou d'un système de permis échangeables nécessite la connaissance du sentier de pollution optimal. Des simulations sont réalisées à partir de mesures aujourd'hui largement approximatives à plusieurs égards : phénomènes climatologiques complexes, estimation de la désutilité des ménages, modélisation, incertitude sur l'avenir...

Pour une incertitude donnée sur les estimations des dommages supportés par les générations futures, il n'y a pas de consensus sur le taux d'actualisation à appliquer à ces dommages. Les estimations du coût des émissions courantes sont donc encore aujourd'hui soumises à débat.

### 1.3.2 Taxes versus permis en situation d'incertitude

En situation de concurrence et d'information parfaite, il est équivalent pour un régulateur de fixer la quantité ou le prix de l'équilibre désiré. Cependant, l'étude des effets du changement climatique souffre de ce que les dommages exacts du phénomène et les coûts précis pour les entreprises de

l'abattement ne sont pas connus. Weitzman (1974) a comparé analytiquement l'usage d'une taxe (manipulation du prix) et de permis (détermination de la quantité) sous l'hypothèse d'incertitude sur les coûts et bénéfices d'une action et l'efficacité respective de ces instruments. Dans le cas de l'effet de serre, les bénéfices d'une réduction des émissions sont fonction du stock de pollution. L'auto-régénération relative de l'environnement étant faible et l'histoire des émissions étant longue, les émissions (flux) n'ont que peu d'effets sur les dommages marginaux tant que le stock ne varie pas substantiellement. Ainsi, dans le court terme, les réductions d'émission affectent peu les dommages marginaux de ces émissions mais beaucoup les coûts marginaux d'abattement. Dans ce contexte, l'usage d'une taxe est plus efficace que l'usage de quotas. Sur le long terme, les émissions cumulées affectent d'autant plus les dommages marginaux que le phénomène est sujet à des effets de seuil alors que les coûts d'abattement de ces émissions y sont moins sensibles en raison de la flexibilité offerte par les longues périodes. Une politique de restrictions sur un horizon long doit donc contrôler la quantité (voir aussi Hepburn, 2006, et Philibert, 2002).

Il est cependant raisonnable de penser que les résultats vérifiés sur une courte période s'étendent à quelques années puisque le stock de pollution dans l'atmosphère est immensément plus grand que le flux d'émission global annuel et que l'adoption de nouvelles technologies de production n'est pas immédiate (Lydon, 2002, et Pizer, 2002).

Il est aussi possible d'utiliser les deux instruments. Pizer (2002) simule un modèle général stochastique et compare l'efficacité des deux politiques pures à une politique hybride qui revient à un marché de permis avec un prix plafond. Il obtient que cette dernière alternative peut être beaucoup plus efficace que chacune des deux politiques pures.

Guesnerie (2006a) note qu'une politique de quantité par marché de permis assure contre le risque de chocs internes spécifiques.

Un mécanisme d'assurance contre une trop grande variabilité des coûts d'abattement pourrait aussi consister en un système de quotas au prix borné : prix plancher et prix plafond (Cournède et Gastaldo, 2001, et Guesnerie, 2006a).

Il a aussi été proposé d'introduire une valve de sécurité à un système de marché de permis permettant, dans le cas où le prix de marché franchit un seuil défini, d'offrir des permis supplémentaires (Kopp *et al.*, 1997) : ainsi, dans le cas où les coûts s'avèrent plus hauts qu'espérés initialement, la valve permet une augmentation de la cible d'émission.

Enfin, Beil *et al.* (1998) remarquent que l'apparente certitude sur les coûts offerte par une politique de taxe est illusoire dans un monde dynamique où la taxe optimale doit changer avec les fluctuations de l'activité économique.

### 1.3.3 Pouvoir de marché

L'usage d'une taxe ne crée pas de nouveau marché mais modifie l'équilibre d'un marché existant. Au contraire, la création d'un marché de permis doit tenir compte des distorsions dont il peut souffrir. En particulier, le prix des droits à polluer peut être l'objet de manipulation si des acteurs de ce marché jouissent d'un certain pouvoir de marché.

Hahn (1984) note qu'un acteur influent se comporte comme un monopole si, à l'équilibre, il vend une partie de ses permis et comme un monopsonne si, à l'équilibre, il achète des permis en plus de ses dotations. Dans ces deux cas, le coût total d'abattement, pour une quantité d'émissions (de permis) donnée, n'est pas minimal. D'abord, ceci implique une relation entre la distribution initiale des droits et l'issue du marché, contrairement au cas d'un marché concurrentiel (voir la sous-section 1.1.2). En particulier, pour rétablir l'efficacité du marché, il faut doter les entreprises qui ont un pouvoir de marché de la quantité de permis qu'elles consommeront.

Les acteurs d'un marché de permis peuvent aussi utiliser ce marché pour améliorer leur influence sur le marché du bien produit. En particulier, ils peuvent stratégiquement exclure des agents de cette activité (Misiolek et Elder, 1989).

### 1.3.4 Couverture

Il paraît prohibitif de contrôler toutes les émissions : une politique idéale devrait tenir compte des gaz issus de la décomposition des êtres vivants, des fuites des réseaux de gaz... Aussi, la question se pose de savoir quels gaz, au-delà du dioxyde de carbone, il faut réguler. Il est très difficile par exemple de mesurer les émissions de méthane provenant des activités agricoles.

### 1.3.5 Séquestration du carbone et décrassage ("scrubbing") des inputs

Lorsqu'il est possible technologiquement de séquestrer la pollution et/ou de nettoyer les ressources polluantes, il n'est plus équivalent de taxer la ressource et les flux d'émission.

La taxation directe du carbone rejeté (par opposition à la taxation de la ressource polluante) donne les bonnes incitations à sa capture avant utilisation. Dans un tel système, la séquestration nette (projet forestier par exemple) doit être rémunérée par la même taxe, négative.

Si la taxe est prélevée sur la ressource (second rang, voir plus haut), celle-ci n'incite pas au décrassage. C'est un de ses inconvénients qu'il faut pallier par un autre instrument (subvention à la capture du carbone par exemple).



En ce qui concerne la séquestration d'un polluant déjà émis (projet forestier), l'hétérogénéité des capacités de stockage crée un problème de mesure de la quantité séquestrée. En outre, ce système doit être crédible et ne pas récompenser la rotation naturelle des forêts équilibrées ou la coupe suivie d'une reforestation (Sedjo *et al.*, 1997). Il faut en fait sanctionner la coupe symétriquement à la récompense pour reforestation.

Le stockage du carbone par les zones forestières est plus facilement observable à grande échelle et pourrait être régulé à l'échelle nationale (Noble et Scoles, 2001).

### **1.3.6 Revenus des politiques**

L'émission de permis à polluer ne permet de récolter des revenus que lorsqu'une partie de ces permis sont initialement distribués par enchères ou vendus à prix régulé (introduction). Les taxes environnementales (sur le carbone ou la ressource) ont l'avantage de permettre d'augmenter les recettes publiques dans tout les cas.

### **1.3.7 Incitations à la recherche-développement**

Fischer *et al.* (1998) montrent que les effets des taxes environnementales ou des permis échangeables dépendent de nombreux paramètres mais qu'aucune de ces deux politiques ne domine a priori.

Dans un modèle de croissance endogène, Saint-Paul (2003) montre qu'une taxe sur les émissions de carbone et une subvention générale classique à la recherche et développement ne suffisent pas pour décentraliser un optimum. Pour ce faire, il montre qu'il est aussi nécessaire de subventionner la recherche "verte" (celle qui permet d'augmenter le nombre de biens non-polluants). Ce dernier instrument permet une réduction des émissions à plus long terme que la taxe environnementale.

Dans un modèle de changement technologique dirigé où la ressource polluante est explicitement épuisable, Grimaud et Rougé (2007) montrent que la taxe optimale sur la ressource est décroissante. Elle donne les bonnes incitations à reporter l'extraction (et donc les émissions) dans le temps et à favoriser la recherche verte qui augmente la productivité du substitut renouvelable non-polluant.

### **1.3.8 Problèmes d'indétermination**

Si la principale ressource polluante est non-renouvelable et que les émissions et la consommation de cette ressource sont technologiquement liées (faible possibilité de séquestration et de décrassage), le prix initial des permis

optimaux et la taxe optimale sont indéterminés. En effet, le prix producteur de la ressource, la taxe et le prix des émissions sont trois prix du même bien. Seule la somme des trois (prix final) est déterminée à l'équilibre.

Dans ce contexte, la dynamique des prix est donnée par la règle d'Hotelling et l'introduction, à une certaine date, d'un système de permis, génère un prix nul des permis à cette date.

Cette analyse fournit un argument en faveur d'un système de permis puisque la taxe n'a pas ici d'effets autres que redistributifs.

## **1.4 Autres instruments : interdictions, information, responsabilisation**

Selon Fisher *et al.* (1996), au plan national ou international, les instruments de marché (permis négociables, taxes) ont plus de chances d'être efficaces que d'autres instruments (standards, labels). Malgré cela, ces dernières politiques peuvent s'avérer de bons compléments aux systèmes de permis et taxes environnementales. En effet, de nombreuses imperfections peuvent freiner le bon fonctionnement des premières politiques : irrationalité (normes, inerties), manque d'information, coûts de transaction, inefficacités administratives, incertitude, imperfections sur d'autres marchés, frictions... En particulier, les défenseurs de ce genre de politiques partent du constat qu'il existe des technologies plus efficaces que celles utilisées et qu'il existe donc des inefficacités dans la diffusion et l'adoption de ces technologies.

Ces politiques, dites "non-incitatives" (Kolstad et Toman, 2001), visent essentiellement à promouvoir la diffusion et le développement de nouvelles technologies moins intensives en carbone. Elles ont certainement un effet significatif sur l'utilisation de ressources polluantes et les émissions qui en résultent. La question que suscitent les politiques suivantes est celle du rapport de leur coût aux bénéfices qu'elles induisent (pour une synthèse, voir Jaffe *et al.*, 2001).

### **1.4.1 Standards et contrôles directs**

Ces mesures ne sont pas flexibles mais peuvent être appropriées pour corriger certaines imperfections inamovibles. Elles peuvent servir notamment à : la restriction de l'ensemble des options des consommateurs ou firmes par l'interdiction de biens ou technologies dont l'inefficience est démontrée ; la réduction des coûts de transaction associés aux investissements par la simplification des règles d'installation ; la transmission des incitations le long de la chaîne de production par des accords verticaux ; la stimulation de l'innovation par des signaux forts qui réduisent l'incertitude et élargissent la

perspective de marchés futurs ; la promotion de l'efficacité par la concertation de secteurs-clefs (exemple de planification d'usage du sol en fonction de la demande de transport à long terme) ; la rotation du capital dans les secteurs où le cycle d'équipement est long...

### *Standards*

Imposer des standards de performance relatifs à l'intensité énergétique encourage le marché à développer et à adopter des biens d'équipement alternatifs plus efficaces. Les gains d'efficacité résultant de ces politiques peuvent s'avérer substantiels (voir Newell *et al.*, 1999, et Greening *et al.*, 1997) ou pas (voir Bellas, 1998, et Jaffe et Stavins, 1995).

Les standards de production sont inflexibles mais impliquent des économies d'échelles favorables à l'innovation.

### *Planification*

Imposer l'exploitation d'énergies renouvelables par l'obligation d'usage de panneaux solaires ou d'éoliennes peut certainement contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ces politiques ont souvent des coûts de transaction élevés (coûts administratifs, vérifications...). Aussi, on peut penser qu'elles impliquent des coûts d'adaptation élevés aux secteurs réglementés.

L'anticipation d'économies nécessaires par la planification urbaine visant à organiser de la manière la moins coûteuse les transports publics peut engendrer des gains importants d'efficacité et donc permettre d'économiser de l'énergie (par la correction partielle de l'externalité d'agglomération).

## **1.4.2 Campagnes d'information**

Une information de qualité permet aux consommateurs d'avoir une pleine conscience des conséquences de leurs actions. Elle réduit aussi les coûts de transaction associés aux investissements des entreprises mais aussi des particuliers. Les campagnes d'information s'appliquent en particulier aux marchés par la création de labels et de certificats.

### *Labels et certificats*

Les prix donnent typiquement peu d'information sur l'intensité énergétique, les coûts et les conséquences environnementales d'un produit. Mais les prix ne sont pas le seul critère considéré par les consommateurs dans leur décision d'achat. Par exemple, les travaux de Hassett et Metcalf (1995) et Jaffe et Stavins (1995) suggèrent que les consommateurs sont beaucoup plus sensibles aux coûts d'installation qu'aux prix.

Les labels et certificats permettent aux consommateurs de prendre en compte les qualités environnementales des produits et de créer une concurrence dans ce domaine.

Selon l'IEA (2003) et Lin (2006), il resterait des opportunités importantes de labellisation : éclairage domestique, électronique, système de climatisation, motorisation électrique...

L'effet de ces politiques est d'autant plus grand qu'elles sont appliquées à grande échelle. Le rapport Stern (Stern, 2006, section 17.6) donne des recommandations pour limiter le coût de ces mesures.

### 1.4.3 Financements publics

#### *Favoriser l'accès aux marchés financiers*

Les difficultés d'accès aux marchés financiers des ménages et des entreprises ralentissent les investissements dans des technologies modernes moins intensives en énergie. Ceci est d'autant plus vrai pour les ménages pauvres et les entreprises des pays en développement. La crédibilité des objectifs de long terme du marché du carbone et les subventions à l'adoption (Gillingham *et al.*, 2004) augmentent le rendement de ces investissements et permet de limiter les effets de l'imperfection.

#### *Financer la recherche "verte"*

Il est reconnu que le caractère de bien public des innovations implique un sous-investissement privé dans les secteurs de la recherche. En conséquence, les gouvernements sont fondés à compenser ce déficit par le financement de la recherche-développement. Ceci est en particulier vrai pour la recherche "verte", c'est-à-dire la recherche visant à rendre plus productives les ressources non-polluantes.

Grimaud et Rougé (2007) montrent que, dans ce contexte, la politique optimale consiste en un financement de tous les secteurs de recherche et en une politique environnementale. Ils examinent comment la production d'innovation "verte" est affectée par ces différents outils.

#### *Subventions*

La structure monopolistique des secteurs de biens d'équipement innovants (brevets, protection de la propriété intellectuelle), l'impossibilité pour les monopoles développant des innovations économes en énergie de discriminer parfaitement et les difficultés d'accès des ménages aux marchés financiers sont trois raisons de subventionner les coûts fixes d'installation de technologies propres.

### *Taux d'intérêts bonifiés*

Proposer aux ménages et aux entreprises des prêts à taux réduits lors d'investissements dans ces installations favorise leur adoption. De plus, de faibles taux d'intérêt incitent à mieux considérer les bénéfices futurs. Sans changer les préférences, ces politiques peuvent, au moins en partie, permettre d'internaliser les coûts externes supportés par les générations futures.

### *Investir dans le secteur public*

Les autorités publiques consomment une large proportion de la quantité totale d'énergie. Dans les pays industrialisés comme dans les pays en voie de développement, cette proportion est de dix à vingt pour cent (Harris *et al.*, 2003, 2004 et 2005). Des gains de productivité peuvent être réalisés dans ce secteur. Par exemple, le secteur public anglais représente onze pour cent des émissions du Royaume-Uni et Carbon Trust (2005) estime que ces émissions peuvent être réduites d'environ quinze pour cent en améliorant l'efficacité de ce secteur.

### *Thème annexe : Contraindre ou proposer*

En fonction de paramètres culturels et politiques, des mesures évoquées plus haut ne nécessitent pas une intervention directe des gouvernements. Certaines peuvent faire l'objet d'un accord volontaire entre gouvernement et entreprises, d'autres peuvent être proposées par le gouvernement pour être mises volontairement en place par les entreprises. Ces possibilités peuvent être exploitées en vue de minimiser les dépenses publiques dans certains domaines pour réallouer les recettes publiques vers des dépenses nécessaires (recherche et développement par exemple).

#### **1.4.4 Favoriser la responsabilité sociale**

Heal (2005) fait une analyse économique de la responsabilité sociale des entreprises (RSE) qu'il définit comme l'action privée visant à réduire les coûts externes ou à éviter les conflits distributionnels : approche semblable à celle de l'OCDE dans son guide aux entreprises multinationales sur la responsabilité (OCDE, 2003). Pour lui, la RSE provient d'une sorte de négociation entre les entreprises et la société quant au partage entre ces deux parties des coûts externes. Par essence, l'entreprise n'a pas vocation à supporter ces coûts mais la société peut la punir. Il en résulte un contrat implicite de *statu quo* tant que l'entreprise accepte d'internaliser tout ou partie des coûts externes. En conséquence, l'entreprise entreprend de réduire l'écart entre les coûts privés et les coûts sociaux de ses actions. Ces coûts externes deviennent alors privés. Pourquoi ne l'étaient-ils pas avant la décision de responsabilisation ?

Ils n'étaient que des coûts d'opportunité non monétaires invisibles du point de vue comptable.

De l'examen des facteurs de la RSE (contraintes et incitations) nous pouvons déduire des préconisations politiques pour la favoriser.

#### *Informar et convaincre l'opinion publique*

Les entreprises pourraient ne pas adopter de comportement responsable par peur de reconnaître publiquement le coût social de leurs activités et d'en être tenues pour responsables. Sur ce constat, la diffusion publique des effets positifs de la RSE (internalisation des externalités, efficacité économique, équité et paix sociale) permettrait de rassurer les entreprises quant à l'interprétation de leur action.

Les entreprises déjà responsabilisées ont un intérêt fort à communiquer les bienfaits de leur action. Une politique d'information publique peut compléter leurs efforts.

#### *Sensibiliser les entreprises*

Il y a un double dividende à la RSE puisqu'elle améliore l'efficacité économique globale mais aussi les performances financières des entreprises (Margolis et Walsh, 2001). La RSE favorise aussi la situation des entreprises et notamment : réduit le risque, réduit les gaspillages, améliore les relations avec les régulateurs, les relations humaines internes et la productivité des employés. Aussi, les ménages incorporent les externalités de production dans leur choix de portefeuilles financiers (Dam, 2006).

Sensibiliser les entrepreneurs et investisseurs à ces faits encouragerait la RSE.

#### *Montrer l'exemple*

Une manière indirecte de sensibiliser les entreprises aux bénéfices de la responsabilisation est de démontrer par l'exemple que ceux-là sont possibles. Le rapport Stern (Stern, 2006) préconise ainsi d'appliquer la RSE aux secteurs publics en se référant à l'expérience californienne depuis 2004. En conséquence des mesures agressives prises dans cet Etat, l'approvisionnement d'énergie est moins risqué, la productivité de ses services a augmenté et les prix ont baissé (voir aussi Harris *et al.*, 2005).

Il est possible de voir émerger dans un proche avenir une réelle concurrence entre les grandes entreprises pour les places de leaders reconnus de la responsabilité sociale. Par la maîtrise du secteur public, les Etats ont un moyen de déclencher cette concurrence.

#### *Conditionner un comportement positif*

A partir de l'idée que la communication d'un gouvernement peut influencer les préférences et le constat que les discours paternalistes et les plaidoyers ont vocation à échouer et peuvent être politiquement inacceptables, le rapport Stern dresse une liste de recommandations pour induire le bon comportement des entreprises et des ménages.

#### 1.4.5 Géo-ingénierie

La géo-ingénierie est la modification volontaire de l'environnement à une large échelle. Une de ses applications possibles au cas du changement climatique (voir NAS, 1992) consiste à disposer des panneaux réfléchissant la lumière du soleil autour de l'atmosphère. Ceci réduirait le flux d'énergie entrant dans l'atmosphère (accroîtrait l'albedo) et provoquerait une baisse de la température sur la planète (voir aussi Keith, 2000). Cette solution était la première envisagée dans un rapport au Président Johnson en 1965 qui constate l'augmentation de la température.

##### *Géo-ingénierie et abattement*

Moreno et Smulders (2007) introduisent cette technologie dans un modèle dynamique de changement climatique. Leur analyse suggère que cette application ne dispenserait optimalement pas de réduire les émissions de gaz à effet de serre. En outre, ces deux instruments sont des compléments stratégiques lorsque le changement climatique affecte déjà très négativement l'économie et des substituts stratégiques si le changement climatique n'a que peu d'effets.

## 2 Economie politique des accords internationaux et propositions post-Kyoto

Un accord international pour la lutte contre l'effet de serre a tout d'un paradoxe. En effet, le réchauffement climatique est un bien public mondial. De plus, il n'existe pas de gouvernement à cette échelle ni de police mondiale capable de faire respecter un contrat entre pays dans ce domaine. Les Etats sont donc laissés à une solution de contribution volontaire. Un accord international doit donc être volontaire, c'est-à-dire tel que tous les participants ont individuellement intérêt à le respecter.

La théorie des jeux a développé une théorie de l'action collective qui donne certaines intuitions sur les facteurs de la coopération (Voir Sandler, 2004) :

- La structure des incitations affecte l'attractivité de la coopération.
- La réciprocité joue un rôle important dans les jeux répétés où les joueurs sont face à un "dilemme du prisonnier" et sont doués de mémoire (stratégies

de coopération conditionnelle) (Voir aussi Fischbacher *et al.*, 2001).

- Dans les jeux répétés, la fréquence des contacts et la transparence favorisent la coopération.
- Dans les jeux répétés, la possibilité de renégociation joue un rôle important. Les mécanismes de conformité reposant sur des punitions sont difficilement effectifs car ils sont coûteux pour le punisseur. Ils créent ainsi des incitations à la renégociation en cas de rupture de la coopération (Pecorino, 1999).
- La réputation influence l'issue du jeu significativement. Un leader peut avoir un effet dynamique positif en révélant sa volonté de coopérer. L'action d'un leader peut affecter positivement les espoirs de gains à la coopération (voir aussi Gaechter, 2006).

Des arguments ont aussi été développés dans des travaux spécifiques à la question du changement climatique.

## **2.1 Une organisation mondiale coercitive est-elle nécessaire ? Est-elle désirable ?**

L'existence d'une institution supra-nationale exécutive et bienfaisante aide à la provision optimale des biens publics.

### **2.1.1 Une institution internationale coercitive peut-elle aider à la signature d'un accord international ?**

Guesnerie (2006) argumente qu'une telle institution n'aiderait pas à la signature d'un accord. Les problèmes d'intérêts divergents demeureraient avec elle. En outre, elle pourrait modifier les rapports de force, ce qui ne faciliterait pas sa création.

Toutefois, l'existence d'une institution internationale forte permettrait peut-être d'infliger des sanctions et de contrôler le respect des engagements.

### **2.1.2 Les négociations d'un accord international pour la lutte contre l'effet de serre doivent-elles être couplées aux accords déjà existants ?**

Des accords internationaux dont l'application est contrôlée par une organisation internationale existent déjà (commerce, OMC). Selon Guesnerie (2006a), les négociations pour un accord international pourraient être couplées à celles orchestrées par des organisations déjà existantes dans des domaines moins sujets aux phénomènes de "passager clandestin" (voir plus bas).



## **2.2 Un accord à grande échelle est favorisé par l'efficacité économique de la politique et par la volonté d'équité**

Il est beaucoup plus facile de mettre en place une coopération d'un petit groupe de pays, comme les plus gros émetteurs par exemple, que d'obtenir un large accord international. L'efficacité économique, pourtant, requiert le consensus. Plus généralement, une réduction substantielle des émissions de polluants nécessite une large participation.

Jacoby *et al.* (1998) simulent des scénarii d'accumulations futures de gaz à effet de serre. Ils analysent le cas d'une réduction forte et suivie des émissions des pays industrialisés et une croissance rapide de celles des pays en voie de développement. Ils montrent que l'effet d'une réduction à zéro des émissions du monde développé aurait alors un impact faible sur l'état de l'atmosphère.

Si des réductions, même drastiques, des émissions des plus gros émetteurs ne suffiraient probablement pas à ramener les émissions totales à un niveau globalement désirable, c'est que ces réductions affectent la compétitivité de ces pays. Il en résulte une "fuite" des émissions des régions contrôlées aux régions non-contrôlées. En fonction des hypothèses de substituabilité des outputs des différents pays et des facteurs de production, ces fuites sont estimées entre quelques pour cent à plus d'un tiers des réductions (Weyant et Hill, 1999). Ces fuites peuvent aussi résulter de politiques régionales de taxation (voir Daubanes et Grimaud, 2006).

Il est donc nécessaire qu'un grand nombre de pays coopèrent pour réguler leurs émissions. Que prédit la théorie économique quant aux facteurs d'une large coopération ? Barrett (1994) trouve qu'un accord international peut fonctionner si les gains à la participation sont modestes et que le nombre de participants est faible. Ces conditions, malheureusement, contredisent celles d'une politique désirable de baisse des émissions. Un moyen cependant de promouvoir la participation des pays serait de réduire le coût total de la politique globale et de le partager équitablement entre les pays.

### **2.2.1 Réduire les coûts de participation par l'efficacité**

L'efficacité économique de la politique proposée par un accord minimise les coûts d'atteindre les objectifs qu'il fixe.

Ceci nécessite une bonne compréhension des effets des outils de politique économique dans la lutte contre le changement climatique : leurs avantages et leurs limites (voir plus haut). Un examen des expériences d'utilisation de ces outils pourrait aussi éclairer le débat (Bell, 2003).

### 2.2.2 Partager les coûts de participation équitablement

Les pays en voie de développement ont des besoins urgents autres que la protection contre le réchauffement climatique (alimentation en eau potable, stabilisation de l'offre de produits alimentaires...) et ont moins de capacités financières et techniques que les pays développés pour réduire leurs émissions. Ces pays ont donc des incitations limitées à participer à un accord dont les coûts leur paraissent inacceptables.

Pour assurer que ces pays coopèrent, des transferts compensatoires ou une distribution des droits en leur faveur apparaissent indispensables. Il n'y a pas de consensus sur un critère d'équité du partage des efforts. Il existe seulement des propositions de règles de partages initiaux des droits d'émissions. Une allocation égalitaire des droits per capita avantage les pays en voie de développement et coûterait énormément aux plus gros émetteurs. Une allocation positivement corrélée aux émissions passées et courantes donnent un avantage certain aux pays développés. Ces deux propositions ont peu de chance de satisfaire un grand nombre de pays.

Différentes formules de graduation dynamique ont aussi été proposées. Elles visent à accroître la part de l'effort total supportée par les pays peu développés à mesure que leurs performances économiques augmentent. Ces approches offrent plus de flexibilité dans les négociations (Cazorla et Toman, 2001). D'autres proposent des objectifs de réduction indexés sur le revenu per capita en vue de converger vers une égalisation des émissions par tête (voir aussi Manne et Richels, 1995 et 1998, et Rose *et al.*, 1998).

Nordhaus (2001) propose que le partage des coûts émerge du marchandage et ne soit pas donné de manière exogène à partir d'une idée a priori de l'équité. Ainsi, les efforts pourraient être partagés en fonction des gains ou pertes des pays à la réduction globale du réchauffement climatique (voir aussi Grimaud, 2004). Il s'agit alors de faire révéler aux pays leur propension à payer pour l'application d'une politique effective.

Certains notent qu'un système d'échange de permis au niveau mondial assorti de surplus au pays en développement entraînerait des transferts de richesse importants que l'opinion publique pourrait ne pas comprendre. On cite l'exemple de transferts annuels de millions de dollars des Etats-Unis vers la Russie (voir Victor *et al.*, 1998) ou la Chine et les débats publics qui en résulteraient.

Un accord étant trouvé sur une allocation a priori des efforts de réduction, une batterie d'outils de redistribution peut permettre des compensations : transferts directs et assistance technique à bas prix peuvent augmenter l'attractivité de la participation pour les pays les plus réticents (voir Rose *et al.*, 1999).

Toutes les questions relatives à la distribution des dotations en permis préalable à un marché du carbone font penser à certains que la solution de politiques de taxation au niveau national reste une alternative raisonnable (Cooper, 1998). Cette solution souffre cependant de deux handicaps. En premier lieu, les hétérogénéités des dotations en ressource polluantes, des productivités, des spécialisations sectorielles incitent différents pays à adopter différents niveaux de taxes (voir Daubanes et Grimaud, 2006) : par exemple, les pays relativement peu productifs peuvent tendre à adopter des taxes relativement faibles et les collectent difficilement ; les pays qui ont peu de ressources polluantes peuvent tendre à taxer le carbone à des niveaux plus élevés. Ceci engendrerait une inefficience globale. En second lieu, toute combinaison de taxes locales correspond à une certaine modification des dotations ex ante en conséquence des transferts de rentes qu'elle engendre. C'est-à-dire que même la participation à un système de taxes harmonisées nécessite des transferts compensatoires de revenus entre les pays.

## **2.3 Comment assurer un véritable engagement à long terme ?**

La discussion ci-dessus participe de la réflexion sur le phénomène statique de "passager clandestin" lors des négociations et à la signature d'un accord international. Certains facteurs favorisent ou non une atténuation de cet inévitable problème.

Un accord étant signé, il reste à assurer que les objectifs qu'il établit seront bien respectés. Dans cette perspective, plusieurs problèmes dynamiques se posent. Tous soulignent la nécessité d'un système de sanctions crédibles.

### **2.3.1 Problèmes d'incohérence dynamique**

Les dynamiques politiques nationales rendent impossibles l'engagement à long terme des décideurs locaux. L'objectif de réélection des responsables au pouvoir les incite à faire supporter de faibles coûts à la génération courante de citoyens. La répétition de ces incitations à chaque cycle électoral peut amener des décideurs successifs à reporter l'effort d'abatement sur les générations futures.

Ce phénomène est d'autant plus probable et difficile à détecter que le sentier optimal d'extraction peut consister en un report de l'abatement à une période future où son coût sera moindre (voir les simulations de Wigley *et al.*, 1996).

En outre, quand bien même le comportement des décideurs élus n'est pas biaisé, la myopie des électeurs (ou de l'électeur médian) et leurs préférences

hyperboliques peuvent avoir les mêmes effets.

De cela résulte un problème de crédibilité des objectifs de long terme car la dernière génération avant la date de l'objectif peut être dans l'impossibilité d'y satisfaire.

Aussi, de la même manière que l'intérêt à resquiller ("free-riding") pour éviter les coûts instantanés de l'accord fragilise la coopération, l'effet de cliquet ("ratchet effect") peut jouer un rôle important à long terme. En effet, ce problème se pose si l'accord prévoit une série de cibles de court terme assortie de cibles flexibles négociables de long terme (Kyoto puis post-Kyoto, par exemple). Dans ce contexte, un Etat peut être tenté de ne pas satisfaire les objectifs de court terme en vue de gagner un pouvoir de négociation (et des objectifs moins contraignants) par la suite (Guesnerie, 2006a et 2006b).

### **2.3.2 Besoins de sanctions ou de récompenses crédibles**

Les problèmes d'incohérence dynamique évoqués rendent nécessaire un système strict de cibles à court et long terme. Leur crédibilité doit reposer sur celle des sanctions prévues en cas de non-respect des objectifs. Ces sanctions doivent donc être gratuites ou profitables aux autres participants et ne pas laisser entrevoir la possibilité de renégociations.

Les sanctions peuvent prendre plusieurs formes. Cela implique un autre processus de négociation. Essentiellement, les sanctions internationales sont sociales ou économiques.

L'interdiction pour un pays de participer à des activités internationales (Jeux Olympiques, par exemple) et de siéger dans des comités internationaux sont des exemples de sanctions sociales. L'appel au boycott par la société civile des produits en provenance d'un pays est une autre stratégie. L'ostracisme est une sanction classique faite à ceux qui ne respectent pas les normes sociales. Enfin, certains proposent le recours collectif devant une instance juridique nationale ou internationale (Seelye, 2001).

Les sanctions économiques sont souvent liées aux échanges internationaux. Ces sanctions ne sont efficaces que si un nombre suffisant de pays les appliquent. Il reste qu'on peut douter de l'intérêt des participants à mettre en place ces sanctions. En outre, ce genre de sanctions peut mettre ceux qui les appliquent en contradiction avec les accords sur le commerce international (dans le cadre de l'OMC). Par exemple, les règles de l'OMC interdisent les discriminations sur la base des procédés et méthodes de production. Or, le règlement des conflits entre des clauses de différents accords n'est pas clair.

Le couplage ("linkage") des négociations sur le commerce international et sur la lutte contre l'effet de serre peut être un moyen d'imposer des punitions crédibles. Deux intérêts à cela : l'image des organisations internatio-

nales historiquement fortes peut être exploitée pour crédibiliser les sanctions ; le domaine du commerce est moins sujet au phénomène de "passager clandestin" (exclusion possible, bien de club) que la lutte contre le changement climatique (voir Guesnerie, 2006a).

Il est aussi possible d'imposer des pénalités financières ou un comportement réciproque, c'est-à-dire une réduction des efforts d'abattement des participants qui ont satisfait leurs objectifs. Finus (2004, p. 22) note que cette dernière sanction est efficace seulement pour les pays développés, qui sont plus concernés par les dommages environnementaux.

Aldy *et al.* (2001, p. 15) imaginent un système sophistiqué de taxe sur les imports (en particulier de produits intensifs en ressources polluantes) à appliquer au pays à punir mais aussi aux pays qui ne veulent pas le punir.

La récompense est aussi un moyen d'inciter à participer et à respecter les engagements passés. L'efficacité de la politique proposée par l'accord est une récompense relative. Les revenus d'éventuelles taxes sur le carbone peuvent aussi servir à financer des primes aux participants les plus exemplaires.

### 2.3.3 Les dangers de la rigueur

#### *Crédibilité de la politique et investissements*

Les problèmes d'incohérence temporelle affectent aussi les décisions présentes d'investissement. En effet, en cas de crédibilité limitée des objectifs de long terme, il n'est pas certain que des politiques plus strictes augmentent les incitations à l'innovation par exemple.

#### *S'adapter à la science*

Les politiques économiques proposées doivent s'appuyer sur les connaissances scientifiques. Ces dernières alimentent une incertitude sur ce que l'on doit faire. En effet, les conséquences de la concentration en dioxyde de carbone ne sont pas connues précisément, de la même manière que les coûts d'abattement et que l'efficacité des instruments sur la réduction des émissions... Cela ne signifie pas qu'il ne faut rien faire.

Une riche littérature traite de la prise de décision optimale en situation d'incertitude, en particulier sous l'hypothèse d'irréversibilité de certains événements (récemment, Pindick, 2000, et Kolstad et Toman, 2001, p. 31-33).

Nous avons déjà noté qu'il existe un arbitrage entre crédibilité et flexibilité. Il existe notamment un arbitrage entre crédibilité et capacité d'adaptation de la cible à l'apprentissage de nouvelles informations.

Dans le cas d'un système de permis à polluer sur une certaine période, des cibles modérées peuvent permettre de mesurer les coûts d'abattement

en limitant le risque. L'ajustement nécessaire de la cible après l'arrivée de l'information ne permet pas la complète définition d'un objectif strict a priori. L'adaptation des objectifs à de nouvelles informations peut aussi consister en une cible de court terme stricte et des cibles de moyen terme fonctions de l'information disponible dans l'avenir.

La théorie moderne reconnaît aussi que des instruments alternatifs peuvent réduire substantiellement l'incertitude. Certains pourraient aussi permettre une adaptation plus simple aux progrès de la science. Il s'agit alors de mieux comprendre notamment les effets des taxes sur l'effort d'abattement et de recherche et ceux de la responsabilisation des entreprises dans un contexte d'incertitude.

## Références

### Références principales

- [1] Aldy J.E., Orszag P.R. et Stiglitz J.E., *Climate Change : An Agenda for Global Collective Action*, Présenté à la conférence "The Timing of Climate Change Policies", Pew Center on Global Climate Change, 2001.
- [2] Böhringer C., *The Kyoto Protocol : A Review and Perspectives*, Oxford Review of Economic Policy, 2003, 19, 451-466.
- [3] Guesnerie R., *Les Enjeux Economiques de l'Effet de Serre*, La Documentation Française, 2003.
- [4] Guesnerie R., *A Future for Kyoto ?*, PSE Working Papers, 2006, 2006-08.
- [5] Heal G., *Corporate Social Responsibility : An Economic and Financial Framework*, The Geneva Papers on Risk and Insurance – Issues and Practice, 2005, 30, 387-409.
- [6] Kolstad C.D. et Toman M., *The Economics of Climate Policy*, Resources for the Future Discussion Papers, 2001.
- [7] Nordhaus W.D., *After Kyoto : Alternative Mechanisms to Control Global Warming*, Présenté à la conférence jointe de l'AEA et de l'AERE, 2001.
- [8] Olmstead S.M. et Stavins R.N., *An International Policy Architecture for the Post-Kyoto Era*, American Economic Review, 2006, 96, 35-38.
- [9] Panayotou T., *Economic Instruments for Environmental Management and Sustainable Development*, Programme des Nations Unis pour l'Environnement, Environmental Economics Series, 1994, 16.
- [10] Pizer W.A., *Prices versus Quantities Revisited : The Case of Climate Change*, Resources for the Future Discussion Papers, 1997.

- [11] Stern N., *The Economics of Climate Change : The Stern Review*, Cambridge University Press, 2007.

## Autres références

- [12] Aldy J.E., Barrett S. et Stavins R.N., *13+1 : A Comparison of Global Climate Change Policy Architectures*, Resources for the Future Discussion Papers, 2003, 03-26.
- [13] Babiker M., Reilly J.M. et Jacoby H.D., *The Kyoto Protocol and Developing Countries*, Energy Policy, 2000, 28, 525-536.
- [14] Barrett S., *Self-Enforcing International Environmental Agreements*, Oxford Economic Papers, 1994, 46, 878-894.
- [15] Barrett S., *Towards a Better Climate Treaty*, World Economics, 2002, 3.
- [16] Barrett S. et Stavins R.N., *Increasing Participation and Compliance in International Climate Change Agreements*, International Environmental Agreements : Politics, Law and Economics, 2003, 3, 349-376.
- [17] Beil S., Fisher B.S. et Hinchy M., *The Economics of International Trading in Greenhouse Gas Emissions : Some Post-Kyoto Issues*, ABARE Conference Paper, 1998, 98.12.
- [18] Bell R.G., *Choosing Environmental Policy Instruments in the Real World*, OECD Global Forum on Sustainable Development : Emissions Trading, 2003.
- [19] Bellas A.S., *Empirical Evidence of Advances in Scrubber Technology*, Resource and Energy Economics, 1998, 20, 327-343.
- [20] Bergstrom T.C., *On Capturing Oil Rents with a National Excise Tax*, American Economic Review, 1982, 72, 194-201.
- [21] Bergstrom T.C., Cross J.G. et Porter R.C., *Efficiency-Inducing Taxation for a Monopolistically Supplied Depletable Resource*, Journal of Public Economics, 1981, 15, 23-32.
- [22] Bohm P. et Larsen B., *Fairness in a Tradable Permit Treaty for Carbon Emissions Reductions in Europe and the former Soviet Union*, Environmental and Resource Economics, 1994, 4, 219-239.
- [23] Böhringer C. et Helm C., *On the Fair Division of Greenhouse Gas Abatement Cost*, Working Paper, 2007.
- [24] Bovenberg A.L. et Goulder L.H., *Neutralizing the Adverse Industry Impacts of CO<sub>2</sub> Abatement Policies : What Does It Cost?*, Resources for the Future Discussion Papers, 2000, 00-27.
- [25] Bovenberg A.L. et de Mooij R.A., *Environmental Levies and Distortionary Taxation*, American Economic Review, 1994, 84, 1085-1089.

- [26] Caplan A.J., Ellis C.J. et Silva E.C.D., *Winners and Losers in a World with Global Warming : Noncooperation, Altruism and Social Welfare*, Journal of Environmental Economics and Management, 1999, 8, 565-592.
- [27] Carbon Trust, *The U.K. Climate Change Programme : Potential Evolution for Business and the Public Sector*, The Carbon Trust, 2005.
- [28] Carraro C. et Siniscalco D., *Strategies for the International Protection of the Environment*, Journal of Public Economics, 1993, 52, 309-328.
- [29] Carraro C. et Siniscalco D., *International Environmental Agreements : Incentives and Political Economy*, European Economic Review, 1998, 42, 561-572.
- [30] Cazorla M.V. et Toman M., *International Equity and Climate Change Policy*, Resources for the Future Discussion Papers, 2001.
- [31] Chakravorty U., Magné B. and Moreaux M., *A Hotelling Model with a Ceiling on the Stock of Pollution*, Journal of Economic Dynamics and Control, 2006, 30, 2875-2904.
- [32] Chen Z., *Negotiating an Agreement on Global Warming : A Theoretical Analysis*, Journal of Environmental Economics and Management, 1997, 32, 170-188.
- [33] Congleton R.D., *Political Institutions and Pollution Control*, Review of Economics and Statistics, 1992, 74, 412-421.
- [34] Congleton R.D., *Governing the Global Environmental Commons : The Political Economy of International Environmental Treaties and Institutions*, in : Schulze G.G. et Ursprung H.W., *Globalization and the Environment*, Oxford University Press, 2001.
- [35] Cooper R., *Toward a Real Global Warming Treaty*, Foreign Affairs, 1998, 77, 66-79.
- [36] Cournède B. et Gastaldo S., *Comparaison d'Instruments Prix Quantités dans la Cas de l'Effet de Serre*, Miméo, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, 2001.
- [37] Cramton P. et Kerr S., *Tradable Carbon Permit Auctions : How and Why to Auction not Grandfather*, Resources for the Future Discussion Papers, 1998, 98-34.
- [38] Dam L., *Corporate Social Responsibility in a General Equilibrium Stock Market Model : Solving the Stock Market Performance Puzzle*, CCSO Working Papers, 2006, 200603.
- [39] Dasgupta P.S. et Heal G.M., *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Oxford University Press, 1979.
- [40] Daubanes J., *On the Optimal Taxation of an Exhaustible Resource under Monopolistic Extraction*, CentER Discussion Papers, 2007, 2007-34.
- [41] Daubanes J. et Grimaud A., *On The North-South Effects of Environmental Policy : Rent Transfers, Relocation and Growth*, LERNA Working Papers, 2006, 06.26.219.



- [42] Dockner E. et Van Long N., *International Pollution Control : Cooperative versus Noncooperative Strategies*, Journal of Environmental Economics and Management, 1993, 24, 13-29.
- [43] Finus M., *International Cooperation to Resolve International Pollution Problems*, Nota Di Lavoro, 2004, 41.2004.
- [44] Fischbacher U., Gächter S. et Fehr E., *Are People Conditionally Cooperative ? Evidence from a Public Goods Experiment*, Economics Letters, 2001, 71, 397-404.
- [45] Fischer C., Kerr S. et Toman M., *Using Emissions Trading to Regulate U.S. Greenhouse Gas Emissions : An Overview of Policy Design and Implementation Issues*, National Tax Journal, 1998, 51, 453-464.
- [46] Fisher B. et al., *An Economic Assessment of Policy Instruments for Combating Climate Change*, in : IPCC, Climate Change 1995 : Economic and Social Dimensions of Climate Change, Cambridge University Press, 1996.
- [47] Gächter S., *Conditional Cooperation : Behavioral Regularities from the Lab and the Field and their Policy Implications*, CeDEx Discussion Papers, 2006, 2006-03.
- [48] Gillingham K., Palmer K. et Newell R., *Retrospective Examination of Demand-side Energy-efficiency Policies*, Resources for the Future Discussion Papers, 2004, 04-19.
- [49] Gollier C., *The Economics of Risk and Time*, MIT Press, 2001.
- [50] Gollier C., Jullien B. et Treich N., *Scientific Progress and Irreversibility : An Economic Interpretation of the Precautionary Principle*, Journal of Public Economics, 2000, 75, 229-253.
- [51] Gordon K., *The OECD Guidelines and Other Corporate Responsibility Instruments : A Comparison*, OECD Working Papers on International Investment, 2001, 2001/5.
- [52] Goulder L.H. et Mathai K., *Optimal CO2 Abatement in the Presence of Induced Technical Change*, Journal of Environmental Economics and Management, 2000, 39, 1-38.
- [53] Greening L.A., Sanstad A.H. et McMahon J.E., *Effects of Appliance Standards on Product Price and Attributes : An Hedonic Pricing Model*, Journal of Regulatory Economics, 1997, 11, 181-194.
- [54] Grimaud A. et Rougé L., *Environment, Directed Technical Change and Economic Policy*, IDEI Working Papers, 2007.
- [55] Grimaud A., Magné B. et Rougé L., *Carbon Storage in a Growth Model with Climate and R&D Policy*, IDEI Working Papers, 2007.
- [56] Guesnerie R., *The Design of Post-Kyoto Climate Schemes : Selected Questions in Analytical Perspective*, PSE Working Papers, 2006, 2006-11.

- [57] Hahn R.W., *Market Power and Transferable Property Rights*, The Quarterly Journal of Economics, 1984, 99, 753-765.
- [58] Harris J. *et al.*, *Using Government Purchasing Power to Reduce Equipment Standby Power*, in : Proceedings of the 2003 ECEEE Summer Study on Energy Intelligent Solutions Climate, Security and Sustainable Development, 2003.
- [59] Harris J. *et al.*, *Energy-Efficient Purchasing by State and Local Government : Triggering a Landslide Down the Slippery Slope to Market Transformation*, in : Proceedings of the 2004 ECEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2004.
- [60] Harris J. *et al.*, *Public Sector Leadership : Transforming the Market for Efficient Products and Services*, in : Proceedings of the 2005 ECEEE Summer Study on Energy Savings : What Works and Who Delivers ?, 2005.
- [61] Hassett K.A. et Metcalf G.E., *Energy Tax Credits and Residential Conservation Investment*, NBER Working Papers, 1995, 4020.
- [62] Hepburn C., *Regulating by Prices, Quantities or Both : An Update and an Overview*, Oxford Review of Economic Policy, 2006, 22, 226-247.
- [63] Hoel M., *Emissions Taxes versus Other Environmental Policies*, Scandinavian Journal of Economics, 1998, 100, 79-104.
- [64] IEA, *Cool Appliances : Policy Strategies for Energy-Efficient Homes*, OECD/IEA, 2003.
- [65] Jacoby H., Prinn R. et Schmalensee R., *Kyoto's Unfinished Business*, Foreign Affairs, 1998, 77, 54-66.
- [66] Jaffe A. et Stavins R.N., *Dynamic Incentives of Environmental Regulations : The Effects of Alternative Policy Instruments on Technology Diffusion*, Journal of Environmental Economics and Management, 1995, 29, 43-63.
- [67] Jaffe A., Newell R.G. et Stavins R.N., *Energy-Efficient Technologies and Climate Change Policies : Issues and Evidence*, in Toman M.A. : Climate Change Economics and Policy, Resources for the Future, 2001.
- [68] Keith D.W., *Geoengineering the Climate : History and Prospect*, Annual Review of Energy and Environment, 2000, 25, 245-284.
- [69] Kopp R., Morgenstern R. et Pizer W., *Something for Everyone : A Climate Policy that Both Environmentalists and Industry Can Live With*, Resources for the Future Discussion Papers, 1997.
- [70] Kopp R.J., Morgenstern R., Pizer W. et Toman M., *A Proposal for Credible Early Action in U.S. Climate Policy (Feature)*, Weathervane, 1999.
- [71] Kolstad C.D., *Environmental Economics*, Oxford University Press, 1999.
- [72] Laffont J.-J., *Fundamentals of Public Economics*, MIT Press, 1988.
- [73] Laffont J.-J. et Tirole J., *Pollution Permits and Compliance Strategies*, Journal of Public Economics, 1996, 62, 85-125.

- [74] Lin J., *Mitigating Carbon Emissions : the Potential of Improving Efficiency of Household Appliances in China*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006.
- [75] Lydon P., *Greenhouse Warming and Efficient Climate Protection Policy, with Discussion on Regulation by "Price" or by "Quantity"*, Institute of Governmental Studies Working Papers, 2002, 2002-5.
- [76] Manne A. et Richels R., *The Greenhouse Debate : Economic Efficiency, Burden Sharing, and Hedging Strategies*, Energy Journal, 1995, 16, 1-37.
- [77] Manne A. et Richels R., *On Stabilizing CO<sub>2</sub> Concentrations – Cost-Effective Emission Reduction Strategies*, Environmental Modeling and Assessment, 1997, 2, 251-265.
- [78] Margolis J.D. et Walsh J.P., *People and Profits ? The Search for a Link Between a Company's Social and Financial Performance*, Lawrence Erlbaum, 2001.
- [79] Michaelowa A., *Global Warming Policy*, Journal of Economic Perspectives, 2003, 17, 204-205.
- [80] Misiolek W. et Elder H.W., *Exclusionary Manipulation of Markets for Pollution Rights*, Journal of Environmental Economics and Management, 1989, 16, 156-166.
- [81] Moreno-Cruz J.B. et Smulders S., *Geoengineering and Economic Growth : Making Climate Change Irrelevant or Buying Time ?*, draft, 2007.
- [82] National Academy on Sciences, *Policy Implications of Greenhouse Warming*, National Academy Press, 1992.
- [83] Newell R.G, Jaffe A. et Stavins R.N., *The Induced Innovation Hypothesis And Energy-Saving Technological Change*, Quarterly Journal of Economics, 1999, 114, 941-975.
- [84] Noble I. et Scoles R.J., *Review : Sinks and the Kyoto Protocol*, Climate Policy, 2001, 1, 5-25.
- [85] Nordhaus W.D. et Boyer J., *Warming the World : Economic Models of Global Warming*, MIT Press, 2000.
- [86] Parry I.W.H., Williams III R.C. et Goulder L.H., *When Can Carbon Abatement Policies Increase Welfare ? The Fundamental Role of Distorted Factor Markets*, Journal of Environmental Economics and Management, 1999, 37, 52-84.
- [87] Pearce D., *The Political Economy of an Energy Tax : The United Kingdom's Climate Change Levy*, Energy Economics, 2006, 28, 149-158.
- [88] Pecorino P., *The Effect of Group Size on Public Good Provision in a Repeated Game Setting*, Journal of Public Economics, 1999, 72, 121-134.
- [89] Philibert C., *Prix versus Quantités*, Atelier Climat et Développement, IEA, 2002.

- [90] Pindyck R.S., *Irreversibilities and the Timing of Environmental Policy*, Resource and Energy Economics, 2000, 22, 233-259.
- [91] Pizer W.A., *Combining Price and Quantity Controls to Mitigate Global Climate Change*, Journal of Public Economics, 2002, 85, 409-534.
- [92] Rose A., Bulte E. et Folmer H., *Long-Run Implications for Developing Countries of Joint Implementation of Greenhouse Gas Mitigation*, Environmental and Resource Economics, 1999, 14, 19-31.
- [93] Rose A., Stevens B., Edmonds J. et Wise M., *International Equity and Differentiation in Global Warming Policy*, Environmental and Resource Economics, 1998, 12, 25-51.
- [94] Sandler T., *Global Collective Action*, Cambridge University Press, 2004.
- [95] Saint-Paul G., *Environmental Policy and Directed Innovation in a Schumpeterian Growth Model*, IDEI Working Papers, 2002, 153.
- [96] Saint-Paul G., *Quels Instruments pour une Politique Environnementale ?*, IDEI Working Papers, 2003, 171.
- [97] Sedjo R.A., Sampson R.N. et Wisniewski J., *Economics of Carbon Sequestration in Forestry*, CRC Press, 1997.
- [98] Seelye K.Q., *Global Warming May Bring New Variety of Class Action*, New York Times, 2001, 6 Septembre.
- [99] Sinclair P.J.N., *High Does Nothing and Rising is Worse : Carbon Taxes Should Keep Declining to Cut Harmful Emissions*, Manchester School, 1992, 60, 41-52.
- [100] Sinclair P.J.N., *On the Optimum Trend of Fossil Fuel Taxation*, Oxford Economic Papers, 1994, 46, 869-877.
- [101] Solow R.M., *The Economics of Resources or the Resources of Economics*, American Economic Review, 1974, 64, 1-14.
- [102] Smulders S. et Vollebergh H.R.J., *Green Taxes and Administrative Costs : The Case of Carbon Taxation*, NBER Working Papers, 1999, 7298.
- [103] Stavins R.N., *The Cost of Carbon Sequestration : A Revealed-Preference Approach*, American Economic Review, 1999, 89, 994-1009.
- [104] Ulph A. and Ulph D., *The Optimal Time Path of a Carbon Tax*, Oxford Economic Papers, 1994, 46, 857-868.
- [105] Victor D.G., Nakicenovic N. et Victor N., *The Kyoto Protocol Carbon Bubble : Implications for Russia, Ukraine, and Emissions Trading*, International Institute for Allied Systems Analysis, Interim Report, 1998, IR-98-094.
- [106] Wiener J.B., *Global Environmental Regulation : Instrument Choice in Legal Context*, Yale Law Journal, 1999, 108, 677-800.
- [107] Weitzman M.L., *Prices versus Quantities*, Review of Economic Studies, 1974, 41, 477-491.

- [108] Weyant J.P. et Hill J., *Introduction and Overview*, Energy Journal, Special Issue, 1999, vii-xiiv.
- [109] Wigley T.M.L, Richels R. et Edmonds J.A., *Economic and Environmental Choices in the Stabilization of Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentrations*, Nature, 1996, 379, 240-243.
- [110] Withagen C., *Pollution and Exhaustibility of Fossil Fuels*, Resource and Energy Economics, 1994, 16, 235-242.